

レーザレンジファインダとマニピュレータを用いた豆腐を対象とする食事支援システム

Meal Support System for Tofu Handling Using Laser Range Finder and Manipulator

○学 大島 悠太郎 (静岡大) 正 山下 淳 (東京大)
正 金子 透 (静岡大) 正 浅間 一 (東京大)

Yuutaro OOSHIMA, Shizuoka University, f0130018@ipc.shizuoka.ac.jp
Atsushi YAMASHITA, The University of Tokyo, yamashita@robot.t.u-tokyo.ac.jp
Toru KANEKO, Shizuoka University, tmtkane@ipc.shizuoka.ac.jp
Hajime ASAMA, The University of Tokyo, asama@robot.t.u-tokyo.ac.jp

Abstract: This paper presents a method for a robot to handle tofu which is an example of non-rigid object to serve in a meal support system. The robot is equipped with a laser range finder(LRF) and a spoon holding manipulator. The LRF measures the 3D coordinates of surface points belonging to tofu on a plate. Then the system determines the position of tofu surface to scoop, and the manipulator moves according to the calculated trajectory. The system has an advantage that preparation of tofu cutting in bite-size is not needed. A preliminary experiment showed the effectiveness of the proposed method.

Key Words: Meal support, Tofu, LRF, Manipulator

1. 序論

上肢が不自由な人、もしくは腕を動かすことができない人は一人で食事を取ることができないか、または困難である場合が多い。そのため食事の際には、付き添いで食べ物を口に運んでくれる介助者が必要である。

しかし食事の間ずっと介助者が付き添うことは介助される側、介助する側の両者にとって負担が大きい。要介助者は介助者に気を使って食事を楽しむことができない、食べたいものを好きな順番で食べることができないなどの問題がある。また、施設などで要介助者が多くいる場合、介助者が足りなくなること考えられる。そこで要介助者が一人で食事を取ることができる食事支援システムの開発が望まれている[1]。

現在実用化されている食事支援システムとして、セコム社のマイスプーン[1-3]がある。このシステムは、スプーンとフォークが手先に付いた 5 自由度のロボットマニピュレータとそのコントローラ、食事の入った専用トレイから成る。利用者はジョイスティックでマニピュレータを操作し、食べ物の前に持って行く。そして把持ボタンを押すと、マニピュレータの手先のスプーンとフォークが食べ物を挟む。後はマニピュレータが自動で食べ物を口まで運んでくれる。

ただし、マイスプーンのマニピュレータで上手く食事を行うためには、食べ物を一口サイズ (2cm 角程度) に切って盛り付けるなどの工夫が必要な場合がある。

その他の従来研究については、箸を用いた食事支援ロボットに関する研究[4-6]がある。しかし要介助者に食べさせる場合、スプーンを用いるほうがより一般的である。スプーンを用いた食事支援システムの従来研究としては、マイスプーンの他に[7]があるが、扱える食べ物は一口サイズに切り分けたものや刻み食が多い。

そこで本研究では、食べ物を小さく切る、もしくは一口サイズに成形するといった事前準備を行う必要のない食事支援システムについて検討する。本研究では、扱う食べ物として、柔軟物であり、介護食などでよく用いられる豆腐を対象とする。本システムはレーザレンジファインダ (以下 LRF と表記する) を用いた 3 次元計測で、ひと塊の豆腐の形状や位置の情報を取得し、その情報を用いて 6 自由度

のロボットマニピュレータに取り付けたスプーンで豆腐をすくい、利用者の口まで運ぶ。

2. システム概要

2.1 作業環境

作業環境を図 1 に示す。作業環境には豆腐の乗った皿、スプーンを手先に取り付けたマニピュレータ、そしてスタンドに固定された LRF がある。マニピュレータと LRF はパソコンに接続され、制御される。

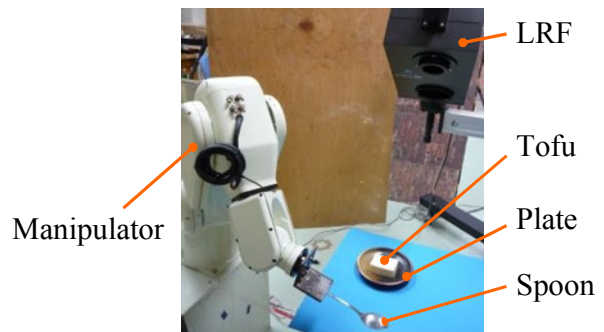


Fig.1 Work environment

2.2 作業の流れ

本手法で対象とする豆腐は初期形状が直方体であると仮定する。この仮定によって豆腐の上部を平面と見なすことができる。

作業の流れを図 2 に示す。なお、LRF とマニピュレータのキャリブレーションは事前に行なっているものとし、また皿の 3 次元データも取得してあるものとする。

まず、豆腐を皿の上に置いた状態で LRF により 3 次元計測をする。そして既に得られている皿の 3 次元データとの差分を取って、豆腐の点群データを抽出する。

次に抽出した豆腐の点群データを用いて、スプーンを豆腐に挿入する位置を決定する。3.3 節で挿入位置を決定する手法を述べる。その決定に基づいてマニピュレータの手先のスプーンで豆腐をすくう。

豆腐を1回すくい終わるごとに、LRFによる計測を行う。この計測データと、皿の3次元データとの差分を取り、残っている豆腐の点群データを抽出する。以降1回目と同様に、スプーン挿入位置を決定して豆腐をすくう。

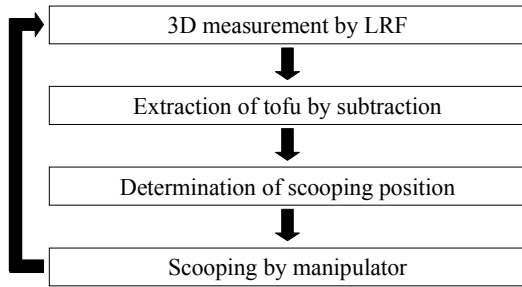


Fig.2 Work flow

3. 作業アルゴリズム

3.1 パラメータ設定

作業に際しては、次の3つのパラメータを設定する。

まず、すくう豆腐の大きさに関するパラメータを設定する。パラメータは、すくう豆腐の幅と高さの2つである。幅はスプーンの大きさを超えないように決定する。すくう豆腐の幅と高さのイメージを図3に示す。すくう豆腐の奥行きは、皿に置いた豆腐の高さに依存する。

次に、スプーンに関するパラメータを設定する。パラメータはスプーンの曲率半径である。本手法ではスプーンの接触円に沿ってスプーンを動かすことで豆腐をすくう。スプーンの接触円のイメージを図4に示す。

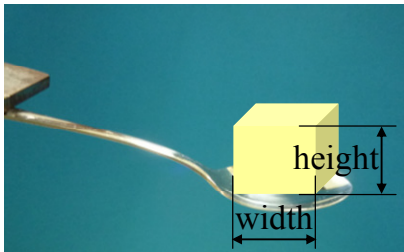


Fig.3 Width and height of tofu to scoop up

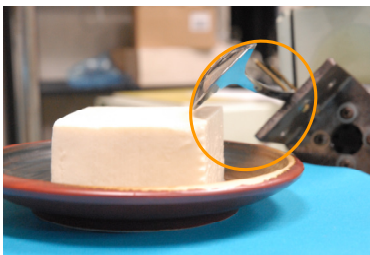


Fig.4 Osculating circle of spoon

3.2 差分処理

皿の3次元データと、豆腐を皿の上に置いた状態の計測データで差分処理を行い、豆腐の点群データを抽出する。以下に例を示す。皿の3次元データを図5に、豆腐を皿の上に置いた状態の計測データを図6に示す。差分処理を行うことで得られた豆腐の点群データを図7に示す。

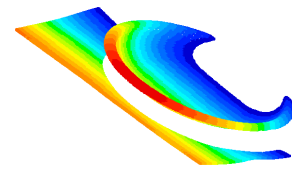


Fig.5 Point group data of plate

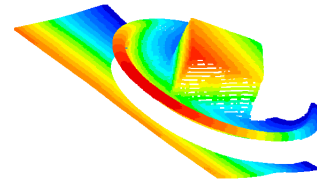


Fig.6 Point group data of plate and tofu

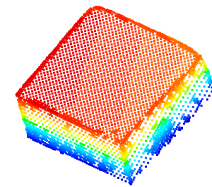


Fig.7 Point group data of tofu

3.3 すくう場所の決定

スプーンで豆腐をすくう際の、豆腐にスプーンを挿入する位置を、3.1節で設定したすくう豆腐の幅と高さの2つのパラメータに基づいて決定する手法を述べる。

LRFは固定されており、一方向から豆腐を計測するため、豆腐を直方体と仮定した場合、計測される面は最大3面である。この計測された面を上面と側面に分割する。計測方向から見た作業環境中における豆腐の上面と側面を図8に示す。

ここから、上面と側面のそれぞれの点群についてマニピュレータ座標系のz軸方向（鉛直上向き）の座標をゼロとおき、マニピュレータ座標系のx-y平面（水平方向）に投影して考える。上面と側面の点群のx-y平面への投影イメージを図9に示す。

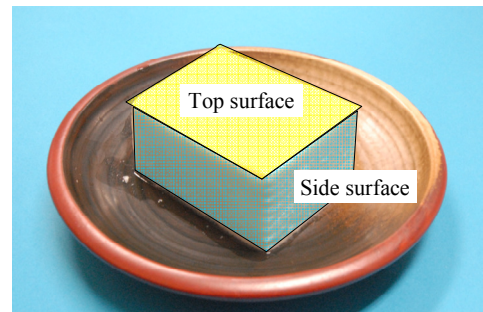


Fig.8 Tofu in work environment

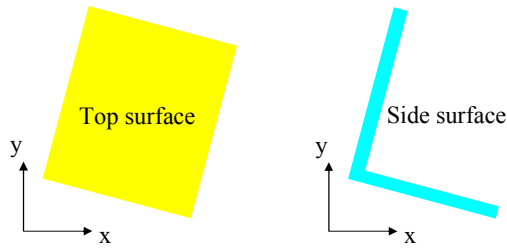


Fig.9 Point group projection on x-y plane

まず、x-y 平面に投影した側面点群について考える。側面点群の内、マニピュレータ座標系の y 軸座標が最も小さい点を 1 点選択し、点 A とする。点 A とその他の側面点群との距離を計算し、この距離がすくう豆腐の幅パラメータに最も近い点を 1 点選択し、点 B とする。点 A、B の例を図 10(1)に示す。点 A と点 B で成す線分 AB の中点を点 C とする。点 C を通り線分 AB に直交する直線を直線 L とし、直線 L 方向単位ベクトルをベクトル $\mathbf{M}$ とする。点 C、直線 L、ベクトル $\mathbf{M}$ の例を図 10(2)に示す。

次に、x-y 平面に投影した上面点群について考える。直線 L 上にあると見なせる上面点群のうち、線分 AB との距離が最も小さい点を選び、点 D とする。点 D からベクトル $\mathbf{M}$ 方向に、すくう豆腐の高さパラメータだけ移動した点を点 E とする。点 D、E の例を図 10(3)に示す。点 E からスプーンを挿入し豆腐をすくう。豆腐の上面点群におけるすくう範囲を図 10(4)に示す。

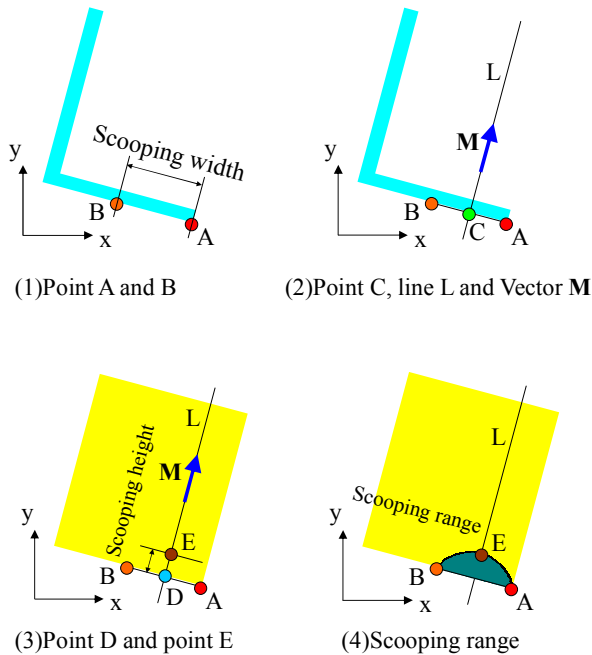


Fig.10 Determination of scooping position

2 回目以降をすくう場合についても、1 回目と同様の手順でスプーンの挿入位置の決定を行う。1 回目のすくい動作の後の、豆腐の点群データを x-y 平面に投影したイメージを図 11 に示す。図 12(1)に点 A、B、C、直線 L、ベクトル $\mathbf{M}$ の例を示す。図 12(2)に点 D、E の例を示す。図 12(3)に上面点群におけるすくう範囲を示す。

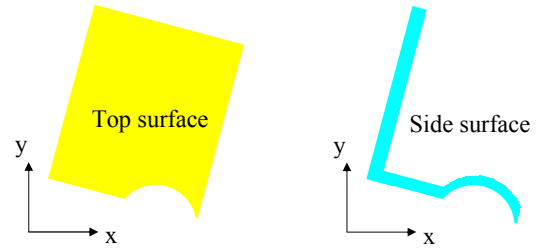


Fig.11 Point group projection on x-y plane in 2nd measurement

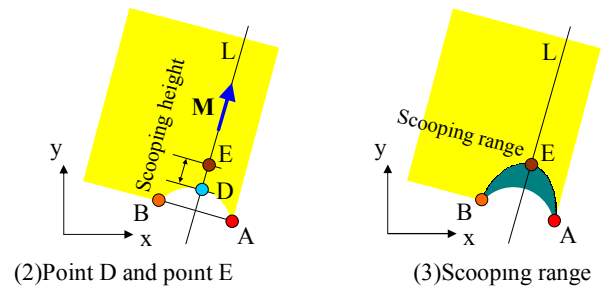
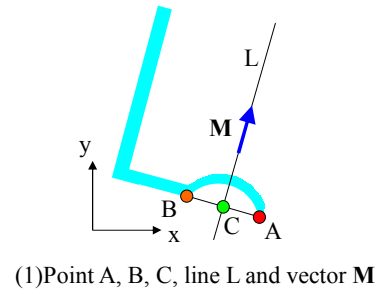


Fig.12 Determination of scooping position in 2nd measurement

3.4 マニピュレータのすくい動作

3.1 節で設定したスプーンの曲率半径パラメータに基づいたマニピュレータのすくい動作について述べる。スプーンの向きをベクトル $\mathbf{M}$ 方向に合わせ、前節で求めた点 E からスプーンを差し込む。スプーンは接触円に沿った動作を行い、豆腐をすくう。この動作を図 13 に示す。

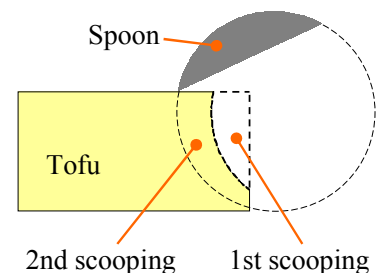


Fig.13 Scooping along osculating circle

4. 提案手法の検証実験

これまでの提案手法を用いて豆腐をすくう作業の実験を行った。実験に使用した豆腐の大きさは $6\text{cm} \times 6\text{cm} \times 5.5\text{cm}$ である。豆腐をすくった様子を図 14(1)から図 14(6)に示す。すくい動作を 5 回繰り返すことで、最初直方体形状であった

豆腐をほとんどすくうことに成功した。



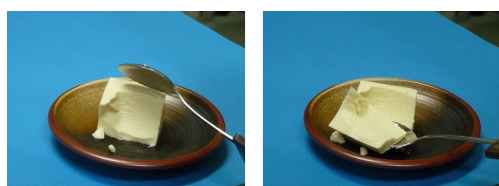
(1) First scooping



(2) Second scooping



(3) Third scooping



(4) Fourth scooping



(5) Fifth scooping



(6) The remainder of tofu

Fig.14 Scooping result

5. 結論

5.1 まとめ

本研究では腕が不自由な人が一人で食事を取るための食事支援システムにおいて、一口サイズに切って盛り付けるなどの事前準備を加えていない豆腐を、3次元計測を用いて計測し、計測結果に基づいてマニピュレータの手先に取り付けたスプーンを用いて豆腐をすくう手法を提案した。また実験により本手法の有効性を示した。

5.2 今後の課題

現在、皿の曲面形状による皿の深さの変化を考慮していないため、皿のふちのように深さが変わる場所でのすくい動作ができない問題がある。そこで、今後の課題は皿の深さの変化を考慮して、スプーンが皿に当たらないようなすくい動作を行うことである。

また、すくい残した豆腐を最後まですくうことも課題である。皿の深さ変化を考慮する課題に関連して、スプーンを皿の形状に沿って動かし、皿のふちまで豆腐をよせて、豆腐をスプーンに乗せるように動かすことで実現する。

文 献

- [1] 手嶋教之: “食事支援マニピュレータとその要素技術”, 日本ロボット学会誌, Vol.14, No.5, pp.624-627, 1996.
- [2] 深瀬東: “サービスロボットの安全化事例 ―食事支援ロボット「マイスプーン」―”, 日本ロボット学会誌, Vol.25, No.8, pp.1165-1167, 2007.
- [3] 麩澤孝, 手嶋教之: “ユーザーから見た福祉ロボットへの意見と期待”, 日本ロボット学会誌, Vol.21, No.4, pp.382-384, 2003.
- [4] 土居真吾, 安藤大樹, 村松直樹: “手指障害者向け自動箸の研究開発 ―操作性の改良―”, 日本機械学会 北陸信越支部 第46期総会・講演会 講演論文集, Vol.2009, No.46, pp. 229-230, 2009.
- [5] 磯崎慎一, 増田良介: “箸を用いた食事介助ロボットの多種食物の把持制御”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2004 講演論文集, 1A1-H-51, 2004.
- [6] 向井仁, 山崎容次郎: “対象物への仕事を考慮した箸型ロボットの把持搬送制御”, 日本機械学会 北陸信越支部 第47期総会・講演会 講演論文集, Vol.2009, No.47, pp. 535-536, 2009.
- [7] 小林宏, 椎葉太一, 小西健太郎: “食事支援ロボットシステムの開発と定量的評価”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.70, No.699, pp.3252-3259, 2004.